4　光速の測定

(Ⅰ)フーコー・マイケルソンの方法
(Ⅱ)変調位相差の検出にる方法

光の速さを次の二つの方法で測定する。第１の方法(Ⅰ)は，高速で回転する鏡を利用する方法で，ﾌｰｺｰ･ﾏｲｹﾙｿﾝ(Foucault-Michelson)の方法と呼ばれている。高速回転する鏡で反射された光が，約15m先に置かれた平面鏡で反射され，再び回転鏡に戻ってくるまでの時間を，その間の鏡の回転角から求める。光の速さは，約30mの往復距離とその所用時間から測定できる。第２の方法(Ⅱ)は，高周波で変調したレーザ光を一定の距離走行させ，位相の時間ズレから光の走行時間を求め光の速さを測定する。光の走行距離を３m以内にとることができ，また，半暗室で使用できるので実験が容易にできる。

【使用実験機器】(Ⅰ)光の速度測定実験装置(高速回転鏡型)
(Ⅱ)光の速度測定実験装置(位相差検出型)

§１　はじめに

光の速さは，現在知られている速さのなかで最も速く，秒速約30万kmにもなる。これは，例えていえば，光が１秒間に地球の周りを約７回半も回る速さである。太陽からの光は，この速さで，地球まで約８分かかって到着する。

光の速さ(真空中の光の速さ)ｃの精密な値は，ｃ＝299792458m/sである。これは，現在，長さの単位の定義に使われていて,「１mは，真空中で光が1/299792458秒の間に進む距離」とされている。この定義は，1973年，国際度量衡委員会で提案され，1983年に正式に決定された。

光の速さは無限大と考えられた時代もあったが，最初に有限性を確認したのはレーマー(Romer)である。 レーマーは，1676年，木星の衛星の食の観測から，光が地球の公転軌道の直径を進むのに要する時間を求め，光の速さとして 2.14×10^{8}m/s を得た。一方，天文学的観測ではなく，最初に地上で光の速さを直接測定したのはフィゾー(Fizeau)である。フィゾーは，1849年，光が 約8.6km 離れた２地点を往復する時間を高速で回転する歯車を用いた装置で測定し，3.13×10^{8}m/s の値を得た。翌年の1850年には，フーコー(Foucault) が，歯車の代りに鏡を高速に回転させる方法で，フィゾーの実験よりも短い距離(20m)で実験に成功し，2.980×10^{8}m/s の値を求た。その後，1878年，マイケルソン(Michelson) は，再びフーコーの実験を取り上げ，その方法を改良し測定を行った。歴史的には，光の速さの測定は，その時代の計測技術の進歩による測定という観点だけではなく，光の波動性と粒子性，光と電磁波の同一性などの物理学の本質と深くかかわる観点で行われている。光の速さが非常に高い精度で測定されるようになったのは20世紀の半ばからであり，マイクロ波技術に続き，レーザー技術が開発されたことによる。

ここでは，光の速さの測定を二つの方法で行う。第１の方法(Ⅰ)は，フーコーとマイケル

ソンの方法によるもので，高速で回転する鏡に光をあて，往復約30mの光路を光が通過し戻ってくるまでの時間を，その間に鏡が回転した角度から求める。非常にダイナミックで，測定の原理が理解しやすい実験である。第２の方法(Ⅱ)は，高周波で変調したレーザ光を利用する方法で，一定距離を走行した光の位相のズレから走行時間を求め，光の速さを求める。光の走行距離を３m以内にとることができ，また，半暗室でできるため教室で容易に実験ができる。

以下，§２で第１の方法を説明し，次に，§３で第２の方法を説明する。

【参考】《フィゾーの光速の測定実験》

光源から出た光は半透明鏡で反射され，歯車(歯数N)の歯を通って歯車から l [m]の距離にある平面鏡に達し，反射されて戻ってくる。この反射光を歯車の次の歯がさえぎると，反射光が見えなくなる。このときの歯車の回転数をｎ[Hz]とすると，歯の１つ分だけ回転する時間は 1/2Nｎ になる。

一方，光の速さをｃ[m/s]とすると，光が往復距離２ l [m]進む時間は２ l /c [s]になるので，両者を等しいとおくことにより，ｃ＝４Nｎ l と表せる。ﾌｨｿﾞ-は， l ＝8633m，N＝720，のもとでｎ＝12.6 Hzを求め，ｃ＝3.13× 10^8 m/sを得た。

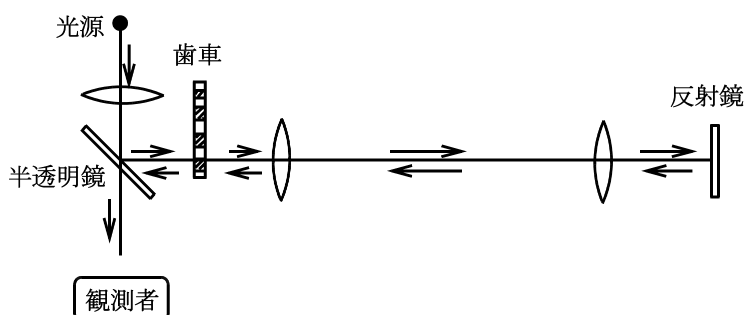


図１ フィゾーの光の速さの測定実験

§２ 光速の測定Ⅰ：フーコ・マイケルソンの方法

１ 説明

(1)測定の原理

実験の概要を図２に示す。回転鏡Ｒから距離ｒだけ離れたところにスリットＳがあり，ランプからこのスリットに光が照射される。光はスリットＳを通り回転鏡Ｒで反射され，投射レンズＬ（焦点距離ｆ。）に入射する。この投影レンズは，回転鏡からレンズ自身の焦点距離ｆ。だけ離れたところｆ＝ｆ。に置かれている。投影レンズＬを出た光は，距離ｂところにある表面鏡（反射平面鏡）M上にスリットの実像を結ぶ。このとき，回転鏡の向きがどこにあろうと，回転鏡により反射された光が投影レンズを通る限り，主光線（光束の中心軸）は投影レンズと表面鏡との間を互いに平行に進むことになる。回転鏡がわずかに回転すると，表面鏡上のスリットの実像は鏡を横切るように移動する。この表面鏡は主光線に垂直なので，表面鏡で反射された光は，もと来た同じ道を帰り投影レンズＬを通って回転鏡Ｒに入り，ここで再び反射されてスリットＳに戻って来る。このとき，スリットの手前に45°に傾けられたスライドガラスを置くと，戻ってきた光の一部は直角に反射されて，スリットと同じ距離に置かれたmm目盛り付きスライドガラス（ガラススケール）上にスリットの像を結ぶ。この

像を目盛りと一緒に拡大して観測する。

観測されるスリットの像は，表面鏡Mまでの距離を往復した光により得られたものである。このスリットの像は，回転鏡が静止したままかゆっくり回っているときは同じ場所に留まっているが，高速で回転しているときは，回転鏡で反射された光が表面鏡Mまで行って戻ってくる間に回転鏡はわずかにその角度を変えるので，入射光路とは異なる方向に反射する。つまり，表面鏡Mで反射されて同じ道を戻ってきた光は，わずかに角度αだけ回転した回転鏡により再び反射されて，今度は最初に入射した時の光路より，２αの角度だけずれた方向に向かうことになる。このときの光源によるスリットの像は，ガラススケール上でもとの位置から$s=2\alpha r$だけずれた位置に観察されるようになる。このズレｓは，光が回転鏡Ｒと表面鏡Mとを往復する所用時間と関係しているので，このズレｓを測定することにより往復時間ｔが求められる。このようにして，光の往復時間ｔと往復距離$2(f+b)$とから，光の速さが求められることになる。

回転鏡Ｒの回転速度は，回転鏡に別の光を当て，その反射光を光センサーで受光し，周波数カウンターで測定することによって求められる。

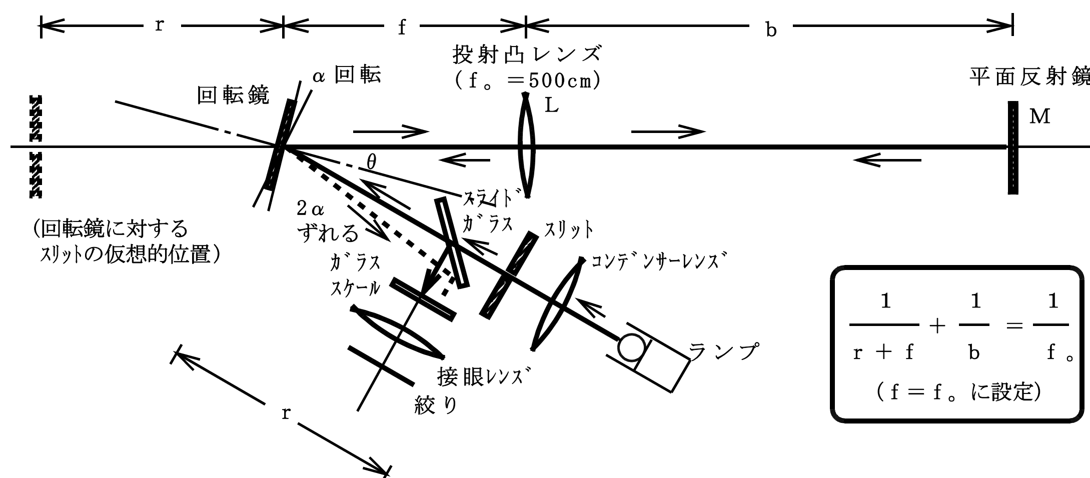


図２ 実験の概要（$f=f_0$，$r=f_0$，$b=2f_0$に調整する）

往路：光源から出た光は，回転鏡Ｒで反射され投影レンズＬを通過して表面鏡Mで反射される。
復路：表面鏡Mで反射された光は，投影レンズＬを通過し回転鏡Ｒで反射して元の光源の方向に戻る。

(2)光の速さの算出

回転鏡Ｒの回転により，回転鏡への復路の反射光線は往路の入射光線の方向とずれ，その結果，スケール上のスリットの像は回転していないときからずれことになる。このズレは，光が回転鏡Ｒと反射鏡Mを往復する間に回転鏡がどれだけ回転するかによって決まる。図２で，$f=f_0$，$r=f_0$，$b=2f_0$に調整しておくと，光の往復距離は，

$$2(f+b)=6f_0 \qquad \cdots (1)$$

となり，この往復に要する時間をｔ，この間の回転鏡の回転角αとすると，

$$\alpha=\omega t \qquad (\omega：回転鏡の角速度) \qquad \cdots (2)$$

と表せる。このとき，回転鏡の回転により，回転鏡で反射された復路の光線は往路の光線に

対して角２αずれることになり，従って，スケール上のスリットの像のズレｓは，

$$s = 2\alpha r = 2\alpha f_0 \qquad \cdots (3)$$

となる。(2)式を用いて，

$$s = 2\omega t f_0 \qquad \therefore \quad t = \frac{s}{2\omega f_0} \qquad \cdots (4)$$

故に，光の速さｃは，

$$c = \frac{[\text{光の往復距離}]}{[\text{所要時間}]} = \frac{6 f_0}{t} = \frac{12 f_0^2 \omega}{s} \qquad \cdots (5)$$

となる。また，１秒間あたりの回転鏡の回転数をｎとすると $\omega = 2\pi n$ より，

$$c = \frac{24\pi f_0^2 n}{s} \qquad \cdots (6)$$

と表せる。

この実験では，投影レンズは焦点距離 $f_0 = 5.000 \times 10^2$ [㎝]を使用するので，

$$c = \frac{24 \times 3.141 \times (5.000 \times 10^2)^2 \times n}{s} = 1.884 \times 10^7 \frac{n}{s} \qquad \cdots (7)$$

（　但し　ズレｓは ㎝ の単位での測定値　）

【備考】《スリットの像のズレｓの予測値》

空気の屈折率を１として光の速さを $c = 2.998 \times 10^{10}$ [㎝/s]とすると，(7)式より

$$s = 1.884 \times 10^7 \frac{n}{c} = \frac{1.884 \times 10^7}{2.998 \times 10^{10}} n = 0.628 \times 10^{-3} n \qquad \cdots (8)$$

回転鏡の１秒間の回転数ｎに対して

$n =$ 440Hz　のとき　$s = 0.277$ [㎝]

$n =$ 500Hz　のとき　$s = 0.314$ [㎝]　　$\cdots (9)$

２ 実験

(1)実験装置および器具

・光の速度測定実験装置(高速回転鏡型)，単巻可変変圧器

・ニップル球光源(回転鏡の回転数測定用)，光センサーおよび受光回路，
周波数カウンター，オシロスコープ(受光監視用)

(2)実験装置の配置と調整

実験装置を図２のように配置する。（実験装置の組み立てと配置は，取扱説明書[1]に詳しく記されているので，ここではその要点を述べる。）

①各部品の組立

・光学台に光源(ﾗﾝﾌﾟﾊｳｽ)，凸レンズ(ｺﾝﾃﾞﾝｻﾚﾝｽﾞ：焦点距離200㎜)，スリットを取り付ける。

・スライドガラスホルダー，スケールホルダー，凸レンズ(接眼ﾚﾝｽﾞ：焦点距離100㎜)，虹彩しぼりを50㎝の支柱に取り付ける。

・回転鏡，投影レンズ(焦点距離5000㎜)，反射表面鏡をそれぞれ長さ50㎝，25㎝，25㎝の支柱に取り付け，Ａ型台の頂点の穴に固定する。

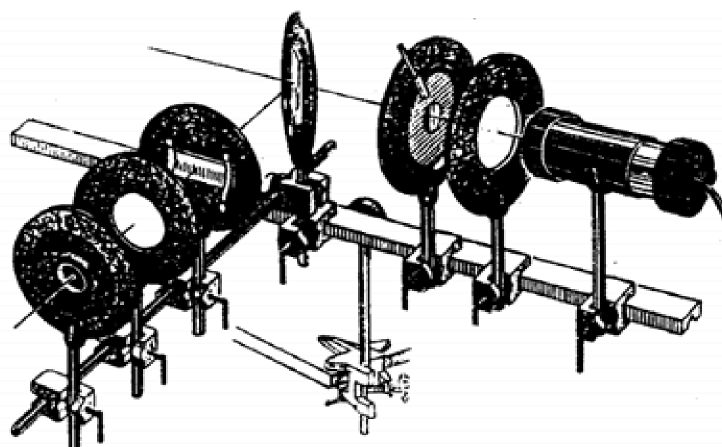


図３ 光学台の組み立て

・すべての部品は同じ高さに揃える。

②各部品の配置(図４)

・適当な広さの教室（と廊下）を使い，同じ高さの机を４台用意する。

机１：光学台を固定する。

机２：回転鏡を光学台のスリットから５mの距離に設置する。

机３：投影レンズを回転鏡から５mの距離に設置する。

机４：表面鏡を投影レンズから10mの距離に設置する。

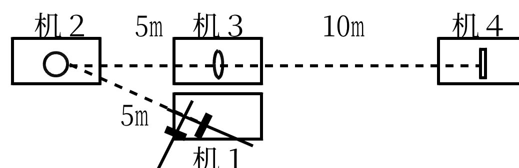


図４ 実験装置の基本配置

（机１と机３は共用しても良い）

・回転鏡，投影レンズ，表面鏡は一直線に並べる。

③光源の調整

・光源（ランプハウス）はできるだけ引張り出しておく。

・フィラメントは垂直にして回転鏡の上に結像するように凸レンズを調整する。このときスリットは広く開けておく。

④投影レンズの位置の調整

・回転鏡を鎖でつながれたキーを使って調整し，投影レンズの中心に反射光を当てる。このときA型台のレベルスクリュー（足）を回して調整する。

・投影レンズのすぐ後ろに表面鏡を置き，この鏡で反射された光を回転鏡のそばに結像（回転鏡自身の像）させる。このとき，投影レンズを少し動かすなどして，一番はっきりピントがあうように調整する。

⑤表面鏡の位置の調整

・スリットを狭めスリットの像を作る。

・表面鏡の前面に白紙をかざし，鏡の中心にスリットの像がくるように回転鏡を調整する。

・スリットの像のピントが合うように表面鏡の位置を調整する。

・スリットを広げ，また，白紙を取り除き，表面鏡によって反射された光が投影レンズを通り回転鏡に結像するように，A型台のレベルスクリューを回して調整する。このとき，

回転鏡の右半分を隠して，その像が回転鏡のどこに結像しているかを見ながら調整する。
・表面鏡による回転鏡の像を回転鏡自身に一致させる。
【注意】以上の調整が終わったら，以後，光学部品を取り付けたＡ型台の位置は動かさない。

⑥光学台上のスライドガラス，ガラススケールの調整
・スライドガラスをスリットから10～15㎝ほど離して置き45°傾けて固定する。
・ガラススケールの支柱を入射光路に対し90°の方向に固定する。従って，反射光線はスライドガラスで反射されてガラススケールに垂直に入射する。
・スリットを入れたとき，スリットの像が最も明瞭になる所にガラススケールを固定する。正しく光学系が組み立てられていれば，スリットの像はスライドガラスとスリット自身との距離に等しい所にくる。
・凸レンズを接眼レンズとして使用し，0.5㎜ の幅にしぼられたスリットの像を拡大して観測する。このとき，虹彩絞りの位置はこの凸レンズを覗いたとき，目の位置が焦点にくるように決める。
・ガラススケールを調整して，スライドガラスで反射されてできた二重像の中心が目盛線上にくるようにする。

⑦ニップル球光源と光センサーの位置の調整（図５）
・ニップル球光源からの光を光センサーが受光するように設置する。このとき，オシロスコープで監視して受光しているかどうかを確認する。

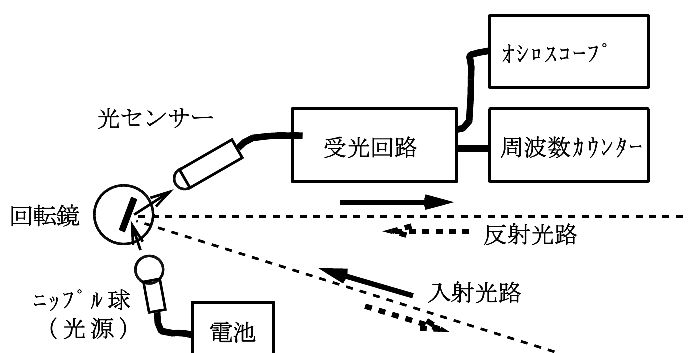


図５　回転鏡の回転数測定と器具配置

(3)実験の方法
① 回転鏡を回転する前に，スリットの像の位置をガラススケール上で読み取る。
② 回転鏡は，単巻可変変圧器を０～110Ｖの範囲で変えると回転数が変えられる。
【注意】回転する前に鎖でつながれたキーが回転鏡からはずされていることを確認すること。
③ 回転鏡の回転数を上げていくと，スリットの像がガラススケール上で移動するので，そのときの位置を読み取りズレｓを求める。
④ 回転数ｎは周波数カウンターで読むことができる。
⑤ 実験による光速の測定値は，(7)式から計算する。

※［速度表示ソフト］

このソフトは，ズレの測定値と周波数カウンターの値から，(7)式による光の速さをディスプレイに大型表示する。ソフトは PC98用で，KOUSOKU.EXE で起動する。

1 起動画面でスリットの像の位置を，「最初」の位置，回転鏡を回転して得られた「測定」値の順にmm単位で入力する。スリットの像の「ズレ」が表示される。

2「周波数カウンター」の読み取り値を入力する。「回転鏡の回転数」が表示される。

3 (7)式で計算した光の速さが[m/秒]の単位で大型表示される。

4［ﾘﾀｰﾝ］を押すと MENU 表示になる。

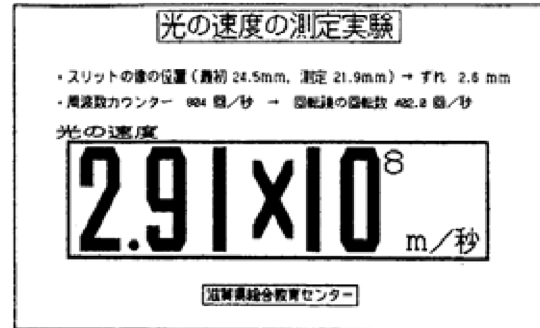


図６　速度表示ソフトによる大型表示

3 実験結果と分析

表１　測定結果の例

No	受光周波数 (Hz)	回転数 (Hz)	ｽｹｰﾙ上の測定値 (mm)	ずれ (mm)	光の速さ (m/s)
0	0	0	24.5		
1	232	116	24.0	0.5	4.37×10^8
2	424	212	23.0	1.5	2.66
3	428	214	23.3	1.2	3.36
4	612	306	22.5	2.0	2.88
5	804	402	21.9	2.6	2.91
6	805	403	21.7	2.8	2.71
7	810	405	21.8	2.7	2.83
8	838	419	21.9	2.6	3.04

※回転鏡は両面鏡となっているので，回転数は受光周波数の半分になることに注意。

平均を有効数字２桁で求めると，光の速さは次のようになる。

・全ﾃﾞｰﾀの平均（No１～No８）　3.1×10^8 m/s
・第１ﾃﾞｰﾀを除いた平均（No２～No８）　2.9×10^8 m/s
・回転数400Hz近傍のﾃﾞｰﾀの平均（No５～No８）　2.9×10^8 m/s

【備考】《測定値の精度について》

回転鏡の１秒間の回転数は周波数カウンターで測定すれば１Hzの精度で求められるが，スケール（長さ５cm）上でのスリットのズレは高々 0.1mm の精度でしか読み取れない。従って，ｎ＝500Hz を例にとると，ずれｓの有効数字は２桁となる。読み取り誤差をδ

とし，$s = s_0 + \delta$ と表すと，(7)式は，

$$c = k\frac{n}{s} \qquad (k = 1.884\times10^{7}\ [\mathrm{cm}^2])$$

$$= k\frac{n}{s_0+\delta} \quad k\frac{n}{s_0}\left(1-\frac{\delta}{s_0}\right)$$

$$= c_0\left(1-\frac{\delta}{s_0}\right) \qquad \text{ここで} \qquad c_0 \equiv k\frac{n}{s_0}$$

となる。$\delta/s_0 \sim \pm 0.1$ とすると

$$0.9c_0 \leqq c \leqq 1.1c_0$$

即ち，$c_0 = 3.0\times10^{8}$[m/s]として，測定値は次の範囲に求められることになる。

$$2.7\times10^{8}\ [\mathrm{m/s}] \leqq c \leqq 3.3\times10^{8}\ [\mathrm{m/s}] \qquad \cdots (10)$$

§３ 光速の測定Ⅱ：変調位相差の検出による方法

１ 説明

(1)実験の概要

光は１mの距離を進むのに，約3.3×10^{-9}秒（=3.3ns）の時間がかかる。

$$1\,\mathrm{m}/3.0\times10^{8}\,\mathrm{m/s} = 3.3\times10^{-9}\,\mathrm{s} = 3.3\,\mathrm{ns} \quad (1\,\mathrm{ns} \equiv 10^{-9}\,\mathrm{s})$$

従って，例えば３m程度の距離で光の速さを求めるには，10ns の時間を測定する必要がある。この時間を波の位相のズレとして観測する場合，1/10ns＝100 MHz（$\mathrm{M} \equiv 10^{6}$）であるから，10MHz～100MHz 程度の周波数の波で実験すれば良い。ここで行う光の速さの測定(Ⅱ)では，波長 670nm の赤色のレーザー光を変調し，37MHz～58MHz の間の可変周波数を持つ変調波として発光する。図７は実験の概要を示したもので，一定距離に置いた反射鏡で反射した光を受光してオシロスコープで観察し，光の走行時間を変調波の位相差として測定する。

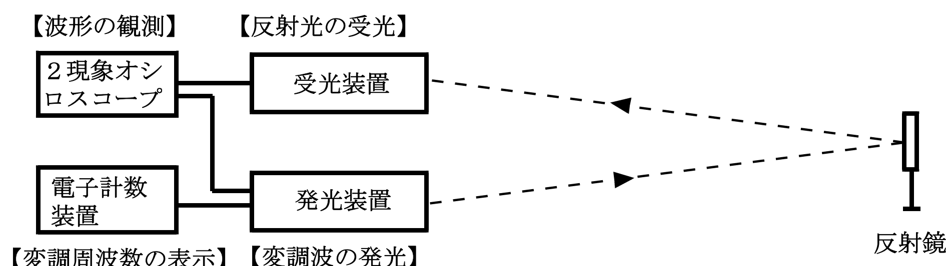


図７ 実験の概要

(2)位相のズレ

発光波と受光波の位相のズレは，光の速さが有限であることを意味する。ある時刻 t での変調波の位相は，

$$\theta = kx - \omega t$$

ここで $\omega = 2\pi\upsilon$，$k = 2\pi/\lambda = \omega/c$ （c：光の速さ）

と表すことできる。

発光装置の位置を x_0 とし，受光装置が距離 χ (反射鏡までの往復距離)だけ離れていると

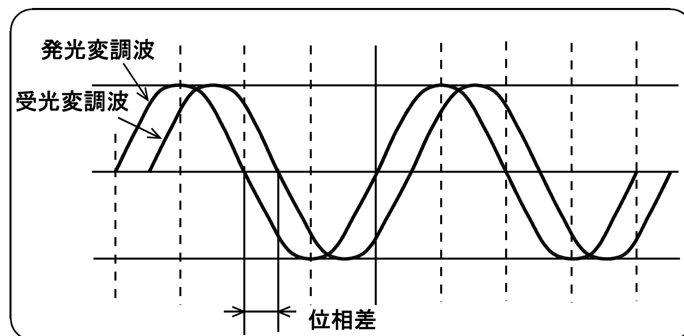


図８ オシロスコープによる観測画面

すると，発光波と受光波の位相は,

発光波：$\theta = k x_0 - \omega t$　　　受光波：$\theta' = k(x_0 + \chi) - \omega t$

となるが，$\tau = \chi / c$ とすると，受光波の位相は

受光波：$\theta' = k x_0 - \omega(t - \tau)$

と表せる。時間τは光が距離χを進むのに要した時間であり，この式は，受光波が時間τだけ以前に発光された波であることを表している。発光波と受光波の位相差 Δθ を求めると,

位相差： $\Delta\theta = \theta' - \theta = k\chi = \omega\tau$　　　… (11)

となる。従って，発光波と受光波をオシロスコープに同時に取り込み，波形の観測から両者の位相の時間のズレτを測定すると，光の速さｃは,

$c = \chi / \tau$　　　… (12)

により求めることができる。

(3)位相差の測定データとその処理

実際に行う実験では，発光装置と受光装置の前端を揃え反射鏡までの往復距離χを測定するが，発光装置内の発光素子と受光装置内の受光素子の位置がはっきりしないので，光路の長さとしては往復距離χをとることができない。従って，ここでは，往復距離を変えて何点かで位相差を測定し，これらの一連のデータから光の速さを求めることにする。

得られたデータがｎ組あるとして，(τ_1, χ_1), (τ_2, χ_2), …, (τ_n, χ_n)とする。図９のように，縦軸に往復距離χ，横軸に位相差τをとり，ｎ組のデータをグラフ上に点で表す。これらの点を最も良く通る直線(最適化直線)を引くと，この直線の傾きは光の速さを表す。

$c = \Delta\chi / \Delta\tau$　　　… (13)

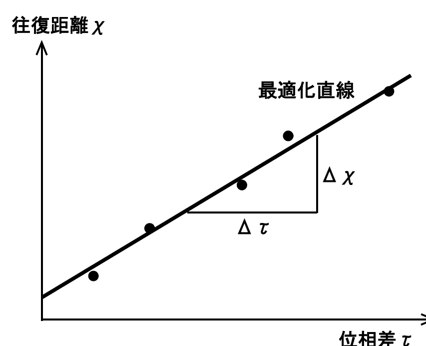


図９ 往復距離と位相差

【備考】《最適化直線》

一般にはこの直線は最小２乗法で求めれば良い。即ち，この直線を

$\chi = a\tau + b$　　　… (14)

として，ｎ組のデータとの残差の２乗

$$S=\Sigma\{\chi_i-(a\tau_i+b)\}^2$$

を，aとbで極小にするように係数aとbを決める。結果は，

$$a=\frac{n\Sigma\chi_i\tau_i-\Sigma\chi_i\Sigma\tau_i}{n\Sigma\tau_i^2-(\Sigma\tau_i)^2}\qquad b=\frac{\Sigma\chi_i\Sigma\tau_i^2-\Sigma\chi_i\tau_i\Sigma\tau_i}{n\Sigma\tau_i^2-(\Sigma\tau_i)^2}\qquad\cdots(15)$$

となる(Σはn組のデータについての和)。係数aの値が光の速さcとなる。

2 実験

(1)実験装置および器具

- 光の速度測定実験装置(位相差検出型)
- ２現象オシロスコープ(50MHz以上の帯域を持ち10倍目盛付きのもの)
- 電子計数装置 NX-10

(2)実験装置の配置と準備

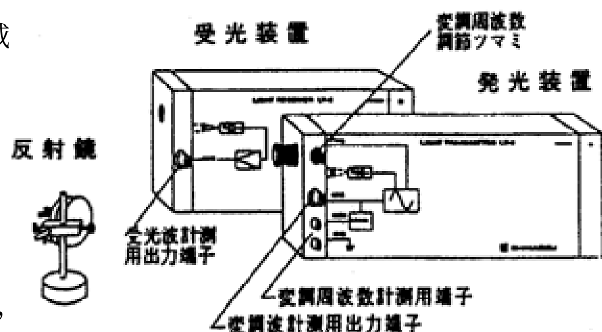


図10 光の速度測定実験装置の構成

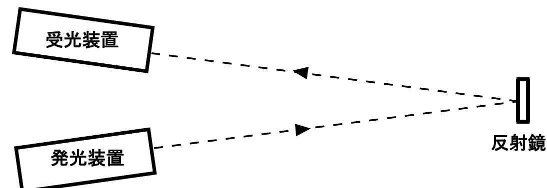


図11 配置図

① 光の速度測定実験装置は，発光装置，受光装置，反射鏡で構成されている。全体の配置は図７のようにするが，発光装置，受光装置，反射鏡は，図11のように光路に正対させる。

② 発光装置と発光装置の前端を揃え，反射鏡までの距離を，0.50m～1.50m程度に設定し，各装置の電源を入れる。

③ 発光装置のレンズを回しレーザ光の焦点を調整する。このとき，レーザ光の焦点が 3㎜ 程度の円状になるようにする。

【注意】危険なので，レーザ光を直接目に入れないようにすること。

④ 電子計数装置の TTL入力端子と発光装置の変調周波数計測用端子を接続し調整する。

※周波数は 1/1000 に分周して表示されるので，実際の周波数は表示値 ×1000[kHz]となる。

⑤ ２現象オシロスコープの Ch.1 と発光装置の変調周波数計測用端子を接続し同期をとる。

⑥ ２現象オシロスコープの Ch.2 と受光装置の受光波計測用端子を接続する。受光装置の受光窓にレーザ光が当たるように，反射鏡の調節ネジで調整する。レーザ光が受光素子に当たっていれば，オシロスコープの Ch.2 に受光波形が観察できる。

(3)実験の方法

① Ch.1とCh.2の波形の高さが等しくなるように，オシロスコープの垂直軸を調整する。

※波形ができるだけ鮮明になるように，反射鏡の向きとレーザ光の焦点を微調整する。

② 発光波と受光波の波形から位相差を測定する。オシロスコープのカーソル機能を使うと，位相差の時間ズレが直読できる。

※受光波には歪みが入ったりして，正確に位相差を求めるのは困難な場合がある。また，位相差は，図８のような時間軸を切る点で求めるより，波形のピーク間を取った方が

測定しやすい。

③ 距離を変えて測定を繰り返す。また，変調周波数を変えて実験を繰り返す。

3 実験結果と分析

実験した測定結果を表２に，それらのグラフ表示を図12に示す。位相差の測定値は 1ns程度の誤差の範囲で求められたが，図12のグラフ表示のように概ね，往復距離と位相差は比例している。

光の速さ，従って最適化直線の傾きを(15)式により最小２乗法で求める。

表２ 位相差τの測定結果(単位ns)

往復距離	変調周波数[MHz]			
χ[m]	40	45	50	55
1.00	4.5	6.0	7.2	8.2
1.50	6.3	8.0	9.1	10.3
2.00	8.1	9.6	10.8	11.6
2.50	9.5	11.2	12.3	13.3
3.00	11.2	12.2	13.6	14.8

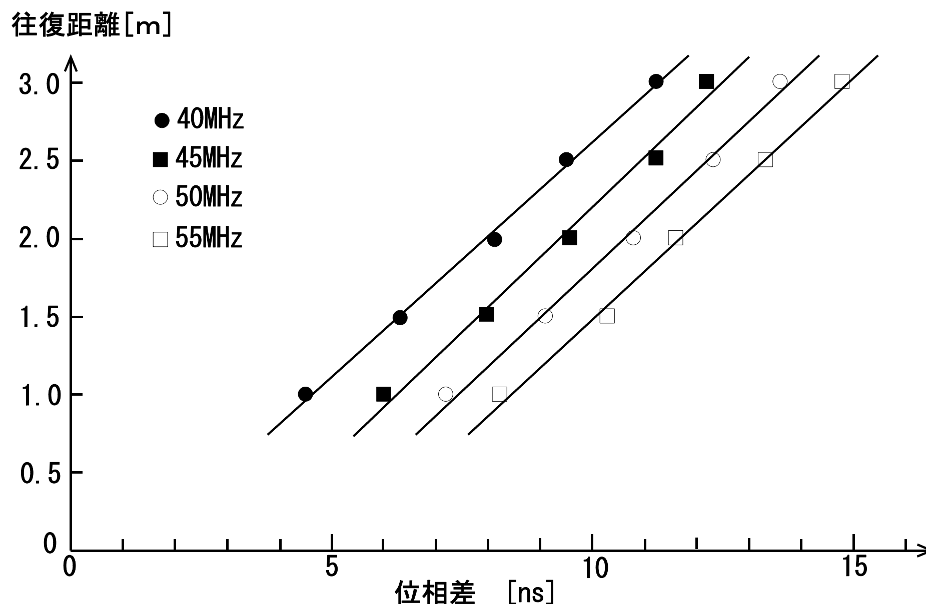


図12 測定結果のグラフ表示

例えば，変調周波数が 40MHz の測定値から，

$$\Sigma \chi_i = 10.00\ ,\ \Sigma \chi_i \tau_i = 87.5\ ,\ \Sigma \tau_i = 39.6\ ,\ \Sigma \tau_i^2 = 341.24$$

$$a = [(15)式] = \frac{5\times 87.5 - 10.00\times 39.6}{5\times 341.24 - 39.6^2} = 0.301$$

これは，τを $ns = 10^{-9}s$ の単位で求めたものであるから，秒単位では

$$a = 0.301\times 10^9\ [m/s^2]$$

従って，求める光の速さcは，

40 MHz のとき　　3.01×10^8 m/s

となる。同様にして，

45 MHz のとき　　3.17×10^8 m/s

50 MHz のとき　　3.11×10^8 m/s

55 MHz のとき　　3.07×10^8 m/s

これらを平均して,

光の速さとして　　3.09×10^8 m/s

を得る。

【参考文献】

[1]「光の速度測定実験装置」取扱説明書（LEYBOLD PHYSICS LEAFLETS DC535.222;b)

[2]「光の速度測定実験装置」取扱説明書（島津理化器械(株)）

[3] 西條敏美著「物理定数とは何か」(1996,講談社)

[4] 高等学校「物理ＩＢ」(1996,実教出版)